Ueber sichtbare Dispersion und Refraktionsäquivalente von Salzen in wässeriger Lösung und von Schwefel und Phosphor in Schwefelkohlenstoff.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

der

hohen philosophischen Fakultät der Universität zu Rostock

ACAD. LUGDUNO BATAV. BIBL.

vorgelegt von

Adolf Kümmel

aus Dreibergen b. Bützow (Mecklbg.)

Rostock.

Druck von Eichemeyer & Fett G. m. b. H.

1914.

Gedruckt mit Genehmigung der philosophischen Fakultät zu Rostock.

Referent: Herr Professor Dr. A. Heydweiller.

Meinen lieben Eltern!

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41553613_0047

1. Einleitung.

Vorliegende Arbeit wurde auf Veranlassung von Herrn Prof. Dr. A. Heydweiller im hiesigen physikalischen Institut ausgeführt. Sie befolgt den Zweck, gewissermaßen als Fortsetzung der Arbeiten von E. Rubien [1]), K. Grufki [2]), J. Bieker [3]) und G. Limann [4]), noch vorhandene Lücken auf dem Gebiete der Dispersionsbestimmungen auszufüllen und das vorhandene Material für verschiedene Kationen zu erweitern. Zum andern sollen die Dispersionsbestimmungen dazu benutzt werden, die aus den Beobachtungen berechneten Refraktionsäquivalente auf lange Wellen zu reduzieren, um dadurch eine der Voraussetzungen für die Gültigkeit des Lorenz-Lorentz'schen Ausdrucks des Refraktionsäquivalentes zu schaffen.

Die Untersuchungen geschahen bei der einheitlichen Temperatur von 18° und erstrecken sich auf folgende Salze:

$AgNO_3$	$Cd_{1/2}Cl$
$Mg_{1/2}Br$	$Cd_{1/2}Br$
$Pb_{1/2}(CH_3COO)$	$Jn_{1/3}Br$
$La_{1/3}NO_3$	

---

1) E. Rubien, Diss., Rostock 1911. Stzgsber. und Abhdlg. der Naturf. Gesellschaft zu Rostock, **3**, p. 397. 1911.

2) K. Grufki, Diss., Rostock 1913.
Rostocker Ber. **4** I, p. 13., **4** II, p. 99. 1912.
Rostocker Ber. **5** II, p. 295. 1913.

3) J. Bieker, Diss., Rostock 1913.

4) G. Limann, Diss., Rostock 1914.

$Sm_{1/3}NO_3$	$Na\,S_{1/2}$
$Th_{1/4}Cl$	$KS_{1/2}$
	$Na\,SH$
$Ti_{1/3}Cl$	KSH
$Sn_{1/4}Cl$	

Außerdem wurden noch die Lösungen von

$$\left.\begin{matrix} S_8 \\ P_4 \end{matrix}\right\} \text{ in } CS_2$$

und

untersucht.

2. Herstellung, Dichte, und Dissoziationsgrad der Lösungen.

Die Lösungen wurden zum Teil von Herrn Prof. Heydweiller, zum Teil von mir selber aus besten Kahlbaumschen Präparaten hergestellt. Nur das $TiCl_3$ wurde von Merck bezogen, und die Lösungen des $JnBr_3$ stellte in liebenswürdiger Weise Herr Prof. Thiel in Marburg zur Verfügung. Benutzt wurden von jedem Salz, mit Ausnahme des $Pb_{1/2}(CH_3COO)$, das nur eine geringe Löslichkeit aufweist, 4 Konzentrationen, und zwar größtenteils ungefähr 0.5, 1, 2 und 4 fach Äq.-Normallösungen. In den meisten Fällen wurde von der konzentriertesten Lösung ausgegangen und die übrigen aus ihr durch Verdünnung nach Volumenverhältnissen bereitet. Gewisse Vorsicht und schnelles Arbeiten erforderte die Herstellung der Lösungen von Schwefel und Phosphor in Schwefelkohlenstoff. Um durch vieles Umgießen entstehende Konzentrationsänderungen möglichst zu vermeiden, wurde jede Lösung einzeln durch Abwägen

in einer Menge von 50 ccm hergestellt. Zu den Phosphorlösungen wurde weißer Phosphor in Stangen von 3 mm verwandt, der vor der Wägung vorsichtig durch Abtrocknen mit Fließpapier von dem anhaftenden Wasser befreit wurde. Da bei längerer Belichtung sich der Schwefel und Phosphor aus den Lösungen wieder abscheiden, wurden die Lösungen in Flaschen aus farbigem Glas aufbewahrt.

Die Dichten sämtlicher Lösungen bestimmte Herr Prof. Heydweiller bei 18 ° mittels des Senkkörpers nach einem von ihm selber angegebenen Verfahren [1]).

Konzentration und Dissoziationsgrad wurden nur in einigen Fällen aus bereits vorliegenden Beobachtungsdaten nach dem spez. Gewicht interpoliert, meistens dagegen von Herrn Prof. Heydweiller bestimmt.

Bei einigen Lösungen, die keine sichere Ermittelung des Leitvermögens für unendlich kleine Konzentration gestatteten, sei es wegen Bildung von Komplexionen ($Jn_{1/3}Br$, $Cd_{1/2}Cl$ und $Cd_{1/2}Br$), sei es wegen starker Hydrolyse ($Ti_{1/3}Cl$ und $Sn_{1/4}Cl$) oder Polymerisation (S_8 in CS_2 und P_4 in CS_2) oder sonstiger störender Einflüsse, mußte auf die Bestimmung des Dissoziationsgrades verzichtet werden.

Auf die Bestimmung der Konzentrationen von $NaS_{1/2}$, $KS_{1/2}$, NaSH und KSH wurde besondere Mühe und Sorgfalt verwendet. Einerseits erwiesen sich die Angaben für den Kristallwassergehalt dieser Salze als nur unzulänglich, andererseits sind die Salze sehr hygroskopisch und zerfließen leicht an der Luft, so daß ein Trocknen derselben im Exsiccator auch nicht gerade angebracht erschien. Es war also notwendig, den Prozentgehalt der Ausgangslösungen

---

1) A. Heydweiller, Ann. d. Phys., **30**, p. 877. 1909.

auf chemischem Wege zu ermitteln. Zwei Methoden waren es vor allem, die für die quantitative Bestimmung des Schwefelgehaltes in Frage kamen: Die Oxydation der Lösung 1.) mit rauchender Salpetersäure im Bombenrohr bei 250 ° und 2.) mit Wasserstoffsuperoxyd. Letztere Methode ließ sich aber bei den Hydrosulfiden nicht anwenden, weil die Lösungen bei Zugabe von H_2O_2 eine milchige Trübung annahmen und sich ganz feiner Schwefel abschied, sodaß man keine Gewähr für vollständige Oxydation hatte. Im folgenden sei der Gang der Analyse beschrieben:

Eine im Wägefläschchen abgewogene Menge, ca. 1.5 bis 4 g, wurde zusammen mit 2 bis 3 ccm rauchender Salpetersäure sorgfältig im Bombenrohr eingeschmolzen und dieses 12 Stunden im Schießofen eingeschlossen und auf 250 ° erhitzt. Die auf diese Weise zum Sulfat oxydierte Lösung wurde vorsichtig aus dem Bombenrohr in eine Porzellanschale gespült und auf dem Wasserbade zwecks Vertreibung der überschüssigen Salpetersäure unter Zusatz von Salzsäure — aus dem sich alsdann bildenden Königswasser entweicht die Salpetersäure schneller — fast bis zur Trockne eingedampft. Der mit Wasser wieder aufgenommene Rückstand wurde stark mit Salzsäure angesäuert, bis zum Kochen erhitzt und mit siedend heißer Chlorbariumlösung versetzt. Die Flüssigkeit wurde noch einige Zeit nahe am Sieden erhalten, und dann konnte das gebildete Bariumsulfat sich absetzen.

Es ist unbedingt notwendig, die Fällung des Bariumsulfats in der Siedehitze vorzunehmen, sonst geht der Niederschlag durchs Filter, da das in der Kälte abgeschiedene schwefelsaure Barium amorph und äußerst feinpulvrig ist. Der Niederschlag wurde ohne Anwendung der Pumpe

abfiltriert, auf dem Filter mit heißem Wasser gut ausgewaschen und mit dem Filter in einem gewogenen Platintiegel so lange geglüht, bis der Rückstand rein weiß war. Nach dem völligen Erkalten im Exsiccator wurde der Tiegel gewogen.

In derselben Weise verläuft die Bestimmung nach der 2 ten Methode, nur mit dem Unterschied, daß die Oxydation nicht mit HNO_3 im Bombenrohr, sondern mit H_2O_2 im Becherglas vorgenommen wurde. Verwandt wurde zur Oxydation 30prozentiges Merck'sches Wasserstoffsuperoxyd, patentamtlich geschützt unter dem Namen „Perhydrol".

Der so ermittelte Gehalt an Schwefel wurde dann auf das betreffende Salz umgerechnet.

Die einzelnen quantitativen Analysen seien hier ausführlich wiedergegeben.

$Na\,S_{1/2}$.

Oxydation mit

I. HNO_3 im Bombenrohr.		II. H_2O_2 im Becherglas.	
Wägefläschchen + Lösung	= 9.4860 g	Becherglas + Lösung	= 83.5587 g
Wägefläschchen	= 5.6667 g	Becherglas	= 81.0306 g
Gewicht der Lösung	= 3.8193 g	Gewicht der Lösung	= 2.5281 g
Tiegel + $BaSO_4$	= 18.1901 g	Tiegel + $BaSO_4$	= 17.7080 g
Tiegel	= 16.6799 g	Tiegel	= 16.6819 g
$BaSO_4$	= 1.5102 g	$BaSO_4$	= 1.0261 g

$BaSO_4 : S = 233.44 : 32.07$

$1.5102 : S = 233.44 : 32.07$ $\quad$ $1.0261 : S = 233.44 : 32.07$

$S = 0.2075$ g $\quad$ $S = 0.1410$ g

In 100 g Lösung sind enthalten:

5.432 g Schwefel. 5.576 g Schwefel.

$Na_2S : S = 78.07 : 32.07$

$Na_2S : 5.432 = 78.07 : 32.07$ $Na_2S : 5.576 = 78.08 : 32.07$

In 100 g Lösung sind enthalten:

13.224 g Na_2S 13.573 g Na_2S

im Mittel: 13.398 g Na_2S.

$KS_{1/2}$.

Oxydation mit

I. HNO_3 im Bombenrohr.		II. H_2O_2 im Becherglas.	
Wägefläschchen + Lösung	= 7.2947 g	Becherglas + Lösung	= 79.8380 g
Wägefläschchen	= 5.6684 g	Becherglas	= 78.4799 g
Gewicht der Lösung	= 1.6263 g	Gewicht der Lösung	= 1.3581 g
Tiegel + $BaSO_4$	= 17.1113 g	Tiegel + $BaSO_4$	= 17.0207 g
Tiegel	= 16.6886 g	Tiegel	= 16.6799 g
$BaSO_4$	= 0.4227 g	$BaSO_4$	= 0.3408 g

$0.4227 : S = 233.44 : 32.07$ $0.3408 : S = 233.44 : 32.07$

$S = 0.0580$ g $S = 0.0468$ g.

In 100 g Lösung sind enthalten:

3.5706 g Schwefel. 3.4474 g Schwefel.

$K_2S : S = 110.27 : 32.07$

$K_2S : 3.5706 = 110.27 : 32.07$ $K_2S : 3.4474 = 110.27 : 32.07$

In 100 g Lösung sind enthalten:

12.277 g K_2S 11.859 g K_2S

im Mittel: 12.068 g K_2S.

NaSH.

Oxydation mit HNO_3 im Bombenrohr.

I.		II.	
Wägefläschchen + Lösung	= 7.9639 g	Wägefläschchen + Lösung	= 8.0733 g
Wägefläschchen	= 6.2989 g	Wägefläschchen	= 5.9387 g
Gewicht der Lösung	= 1.6650 g	Gewicht der Lösung	= 2.1346 g
Tiegel + $BaSO_4$	= 17.7319 g	Tiegel + $BaSO_4$	= 18.0141 g
Tiegel	= 16.6824 g	Tiegel	= 16.6829 g
$BaSO_4$	= 1.0495 g	$BaSO_4$	= 1.3312 g

1.0495 : S = 233.44 : 32.07 — S = 0.1442 g

1.3312 : S = 233.44 : 32.07 — S = 0.1829 g

In 100 g Lösung sind enthalten:

8.6594 g Schwefel. 8.5671 g Schwefel.

NaSH : S = 56.08 : 32.07

NaSH : 8.6594 = 56.08 : 32.07 NaSH : 8.5671 = 56.08 : 32.07

In 100 g Lösung sind enthalten:

15.142 g NaSH 14.981 g NaSH

im Mittel: 15.061 g NaSH.

KSH.

Oxydation mit HNO_3 im Bombenrohr.

I.		II.	
Wägefläschchen + Lösung	= 8.0518 g	Wägefläschchen + Lösung	= 7.7902 g
Wägefläschchen	= 6.3131 g	Wägefläschchen	= 6.5249 g
Gewicht der Lösung	= 1.7387 g	Gewicht der Lösung	= 1.2653 g

Tiegel + $BaSO_4$	= 17.9049 g	Tiegel + $BaSO_4$	= 17.5678 g
Tiegel	= 16.6898 g	Tiegel	= 16.6879 g
$BaSO_4$	= 1.2151 g	$BaSO_4$	= 0.8799 g

1.2151 : S = 233.44 : 32.07 0.8799 : S = 233.44 : 32.07

S = 0.1669 g S = 0.1209 g

In 100 g Lösung sind enthalten:

9.6019 g Schwefel. 9.5534 g Schwefel.

KSH : S = 72.178 : 32.07

KSH : 9.6019 = 72.178 : 32.07 KSH : 9.5534 = 72.178 : 32.07

In 100 g Lösung sind enthalten:

21.608 g KSH 21.507 g KSH

im Mittel: 21.557 g KSH.

Unter Benutzung des Mittelwertes des Prozentgehaltes wurde die Konzentration der Ausgangslösung berechnet nach der bekannten Formel:

$$m = \frac{p \cdot s_{18/4}}{A} 10 ,$$

worin p den Prozentgehalt, $s_{18/4}$ die Dichte der Lösung bei 18° bezogen auf Wasser von 4° und A das Aquivalentgewicht des gelösten Salzes bedeuten,
und die der verdünnten Lösungen nach der Beziehung:

$$m_1 = \frac{a\,(s_{18/18})_{m_1}}{b\,(s_{18/18})_m} \cdot m ,$$

wobei mit

a das Gewicht
m die Konzentration
$(s_{18/18})_m$ die Dichte

} der Ausgangslösung

und mit

$$\left.\begin{array}{l} b \text{ das Gewicht} \\ m_1 \text{ die Konzentration} \\ (s_{18/18})_{m_1} \text{ die Dichte} \end{array}\right\} \text{der betr. verdünnten Lösung}$$

bezeichnet ist.

Zur Berechnung der Konzentration der Lösungen des $Ti_{1/3}Cl$, $Sm_{1/3}NO_3$ und $Th_{1/4}Cl$ wurde der Prozentgehalt der Ausgangslösungen von Herrn Prof. Heydweiller auf chemischem Wege ermittelt, und zwar wurden Ti, Sm und Th als Oxyde bestimmt.

3. Bestimmung der Brechungskoeffizienten.

Die Brechungskoeffizienten n_α, n_β, n_γ der drei Hauptlinien des Wasserstoffspektrums H_α, H_β, H_γ wurden mit einem Refraktometer nach Pulfrich[1]) aus der Fabrik von Zeiss in Jena bestimmt. Was die Methode und die Handhabung des Apparates anbetrifft, so verweise ich dabei auf die Arbeiten von Grufki[2]) und Bieker[3]). Betonen möchte ich nur nochmals folgendes:

Es wurde peinlichst darauf geachtet, daß das Prisma des Refraktometers und die Wandung des Glaszylinders, in dem sich die Lösung befindet, dieselbe Temperatur hatten wie die Lösung. Nur dadurch ist bei richtiger Einstellung der Wasserstoffröhre die größtmögliche Schärfe der Grenzlinien gewährleistet. Erst wenn der Temperaturzustand längere Zeit ein stationärer war, wurde an die Ablesungen gegangen.

---

1) C. Pulfrich, Ztschr. f. Instrumentenkunde, **7**, p. 267. 1893; **9**, p. 389. 1895.

2) K. Grufki, Diss., Rostock 1913.

3) J. Bieker, Diss., Rostock 1913.

Bei 18° wurden auf jede Linie 4 Einstellungen gemacht, die selten um mehr als 0.5 Minuten von einander abwichen. Diese Abweichungen machen sich jedoch erst in der 5ten Dezimale des Brechungskoeffizienten bemerkbar. Bei einzelnen Lösungen, vornehmlich bei den Nitraten, war es wegen geringer Intensität der Linie H_γ erforderlich, nach den 4 Beobachtungen für jede der 3 Linien den Glaszylinder mit frischer Lösung zu füllen und auf die violette Linie abermals 4 Einstellungen zu machen. Da einige Lösungen, vor allem die von mir untersuchten Sulfidlösungen und die Silbernitratlösungen, den Metallzylinder stark angreifen, so empfiehlt es sich, mit ganz besonderer Sorgfalt nach jeder Konzentrationsreihe den Metallzylinder und alle übrigen, von der Lösung benetzten Teile zu reinigen. Etwaige Verunreinigungen machen sich sonst sofort geltend bei der Bestimmung der Brechungskoeffizienten für Wasser, die nach jeder Konzentrationsreihe ausgeführt wurde.

Für die Bestimmung der Brechungsexponenten der Lösungen von Schwefel und Phospor in Schwefelkohlenstoff reichte das Refraktometer nach Pulfrich nicht aus, da das Prisma nur gestattete, Brechungskoeffizienten bis zum Betrage von $n = 1.63203$ zu messen, während bereits die Brechungsexponeten für das Lösungsmittel, den Schwefelkohlenstoff, bei 18° die Werte [1]) haben: $n_\alpha = 1.6199$, $n_\beta = 1.6541$, $n_\gamma = 1.6767$. Deshalb wurden diese Lösungen in einem Hohlprisma mit einem Spektrometer, dessen Fernrohr eine mikrometrische Schraubeneinstellung besitzt, untersucht. Damit wurden aber die Fehlerquellen erheblich vergrößert, denn einmal hatte man hier keinen Wasserstrom, der das

1) F. Kohlrausch, Lehrb. d. prakt. Phys., 11. Aufl. p. 712. 1910.

Prisma umspülte, und zum andern macht sich der Temperatureinfluß auf den Brechungsindex bei Lösungen in Schwefelkohlenstoff bedeutend stärker bemerkbar als bei wässerigen Lösungen. Nach Kohlrausch [1]) ändert sich der Brechungskoeffizient von CS_2 in mittleren Temperaturen bei einer Temperaturänderung von $+1^0$ um ± 9 Einheiten in der 4ten Dezimale; es mußte also von vornherein auf die Angabe der 5ten Dezimale des Brechungsexponeten verzichtet werden. Die Mikrometerschraube des Spektrometers wurde mehrmals bei 18^0 unter Einschaltung des mit Schwefelkohlenstoff gefüllten Prismas, das vorher in einem Bade von 18^0 gut temperiert war, ausgewertet. Die wiederholten Messungen ergaben, daß 1 Teilstrich auf der Trommel der Mikrometerschraube im Mittel 0.0000359 Einheiten des Brechungsexponenten entsprechen. Wenn man berücksichtigt, daß bei guter Temperierung der Lösungen und des Prismas im Wasserbade die 4 Einstellungen des Fadenkreuzes auf die Linien selten um mehr als 4 Teilstriche von einander abwichen, und daß von den Brechungskoeffizienten nur noch die 4te Dezimale angegeben wurde, so darf man wohl mit der erreichten Genauigkeit zufrieden sein.

4. Berechnung der Tabellen.

In Übereinstimmung mit bereits vorhandenem Material sind in den 19 Tabellen, in denen die Resultate der Messungen zusammengestellt sind, folgende Bezeichnungen gewählt:

$s_{18/18}$ = Dichte der Lösung bei 18^0 bezogen auf Wasser von 18^0.

m = Konzentration in gr – Aquivalent pro Liter.

1) F. Kohlrausch, Lehrb. d. prakt. Phys., 11. Aufl. p. 712. 1910.

$\Delta_s = \frac{100}{m} (s_{18/18} - 1)$ der äquivalente, prozentische Dichtezuwachs gegen gleich temperiertes Wasser.

$i = \frac{\Lambda}{\Lambda_0}$ der elektrolytische Dissoziationsgrad bei 18°, definiert durch das Verhältnis von Λ, dem Äquivalentleitvermögen bei gegebener, zu Λ_0, dem bei unendlich kleiner Konzentration.

H_α, H_β, H_γ die 3 Hauptlinien des Wasserstoffspektrums von den Wellenlängen 656.3 μμ, 486.1 μμ, 434.1 μμ

n_α, n_β, n_γ die Werte der zu obigen Linien gehörigen Brechungskoeffizienten beim Übergang von Luft in Lösung von 18°.

n_0 der Brechungskoeffizient des Wassers für die betr. Linie.

$n - n_0$ gibt die Differenz zwischen dem Brechungsindex der Lösung und dem des Wassers.

$\Delta_n = \frac{100 (n - n_0)}{m \cdot n_0}$ ist der äquivalente, prozentische, optische Dichtezuwachs der Lösung gegen Wasser von gleicher Temperatur. Die auf diese Weise ermittelten Werte wurden als Δ_n „beob." in die Tabellen eingetragen.

Die Differenzen

$\Delta n_\beta - \Delta n_\alpha$, $\Delta n_\gamma - \Delta n_\alpha$ für die beobachteten Werte der Δ_n sind das Maß für die Dispersion der Lösung gegen Wasser.

Bei den Lösungen, die eine Bestimmung des Dissoziationsgrades gestatteten, wurden in einem Cartesianischen Koordinatensystem die Δ_n „beob." als Ordinaten und die zugehörigen Dissoziationsgrade i als Abszissen aufgetragen. Die mit großer Annäherung auf einer Geraden liegenden Punkte liefern durch Extrapolation als Schnittpunkte dieser Geraden mit den Ordinaten $i = o$ und $i = 1$ den optischen Dichtezuwachs B_n und A_n für die Molekül- resp. Jonenlösung.

Mit Hilfe dieser Konstanten A_n und B_n wurden nach der von A. Heydweiller[1]) angegebenen linearen Beziehung:

$$\Delta_n = B_n + (A_n - B_n)\, i$$

die Werte von Δ_n berechnet und als Δ_n „ber." in die Tabellen aufgenommen. d gibt den Unterschied zwischen Δ_n „beob." und Δ_n „ber." an; in den meisten Fällen differieren Δ_n „beob." und Δ_n „ber." um weniger als 5 Einheiten in der letzten Dezimale.

Aus den beobachteten Werten von Δn_α und Δn_β wurde für die D-Linie das Δn_D nach der empirischen Formel:

$$\Delta n_D = \Delta n_\alpha + (\Delta n_\beta - \Delta n_\alpha)\, 0.285$$

berechnet und als Δn_D „ber." in die Tabellen eingetragen. Obige empirische Formel gilt jedoch nur für wässerige Lösungen; deshalb mußte für die Lösungen in Schwefelkohlenstoff das Δn_D in jedem einzelnen Falle aus den beobachteten Werten von Δn_α und Δn_β nach der Wellenlänge interpoliert werden.

---

1) A. Heydweiller, Ann. d. Phys. **30**, p. 873. 1909.

Die Δr_D in den Tabellen bezeichnen die auf die D-Linie bezogenen Refraktionsäquivalente, die nach der von A. Heydweiller[1]) für eine 1 fach Normallösung aufgestellten und von J. Howitz[2]) für eine m-fach Normallösung umgerechneten Formel:

$$\Delta r_D = \frac{7}{34}\left\{ 36.30\,\Delta_n - 0.16\ m\ \Delta_n^2 + M_1 - 10\,\Delta_s \right\}$$

ermittelt werden.

Auch diese Formel hat nur Gültigkeit für wässerige Lösungen, sodaß für die Lösungen in Schwefelkohlenstoff eine neue Berechnung der Konstanten nötig war. In kurzen Zügen sei die Rechnung hier wiedergegeben:

Geht man vom Lorenz-Lorentz'schen Ausdruck für die Refraktion: $\frac{m}{s} \cdot \frac{n^2-1}{n^2+2}$ aus, wobei unter m die Masse, s die Dichte und n der Brechungsexponent verstanden ist, so gilt für die Refraktion eines Liters einer m-fachen Normallösung vom spezifischen Gewicht s die Gleichung:

$$\frac{1000\,s}{s} \cdot \frac{n^2-1}{n^2+2} = \frac{1000\,s - m\,M_1}{s_0} \cdot \frac{n_0^2-1}{n_0^2+2} + \frac{M_1\,m}{s_1} \cdot \frac{n_1^2-1}{n_1^2+2}.$$

Der Index 0 bezieht sich auf das Lösungsmittel, der Index 1 auf den gelösten Körper vom Äquivalentgewicht M_1.

Für das Refraktionsäquivalent des gelösten Körpers folgt daraus:

$$\Delta_r = \frac{M_1}{s_1} \cdot \frac{n_1^2-1}{n_1^2+2} = \frac{1}{m}\left[1000\,\frac{n^2-1}{n^2+2} - \frac{1000\,s - m\,M_1}{s_0} \cdot \frac{n_0^2-1}{n_0^2+2}\right]$$

1) A. Heydweiller, Ann. d. Phys. **41**, p. 518. 1913.
2) J. Howitz, Diss., Rostock 1914.

Nun gilt bei 18° für Schwefelkohlenstoff und Natriumlicht:

$$n_0 = 1.6291$$

$$s_0 = 1.26767,$$

sodaß

$$\frac{1}{s_0} \cdot \frac{n_0^2 - 1}{n_0^2 + 2} = 0.28035,$$

und es ist ferner:

$$n = n_0\left(1 + \frac{m\,\Delta_n}{100}\right),\quad s = s_0\left(1 + \frac{m\,\Delta_s}{100}\right),$$

also wird:

$$\Delta r_D = \frac{1}{m}\left[1000 \cdot \frac{n_0^2\left(1+\frac{m\,\Delta_n}{100}\right)^2 - 1}{n_0^2\left(1+\frac{m\,\Delta_n}{100}\right)^2 + 2} - 1000 \cdot 0.28035\, s_0\left(1 + \frac{m\,\Delta_s}{100}\right) + 0.28035\, m\, M_1\right],$$

oder anders geschrieben:

$$\Delta r_D = \frac{0.28035}{m}\left[\frac{1000}{0.28035} \cdot \frac{\left(1 + \frac{m\,\Delta_n}{100}\right)^2 - \frac{1}{n_0^2}}{\left(1 + \frac{m\,\Delta_n}{100}\right)^2 + \frac{2}{n_0^2}} - 1000\, s_0 - 10\, m\, s_0\, \Delta_s + m\, M_1\right]$$

Der in der Klammer [ ] auftretende, Δ_n enthaltende Bruch läßt sich in folgende Maclaurin'sche Reihe entwickeln:

$$\frac{(1+\Delta_{1n})^2-p}{(1+\Delta_{1n})^2+2p} = f(0) + \frac{\Delta_{1n}}{1!} f'(0) + \frac{\Delta_{1n}^2}{2!} f''(0) + \ldots ,$$

wobei zur Abkürzung gesetzt ist:

$$\frac{m\Delta_n}{100} = \Delta_{1n} , \frac{1}{n_0^2} = p , \frac{2}{n_0^2} = 2p .$$

Die Differentialquotienten berechnen sich zu:

$$f(0) = \frac{1-p}{1+2p} = 0.3554$$

$$f'(0) = \frac{6p}{(1+2p)^2} = 0.7352$$

$$f''(0) = \frac{12p^2-18p}{(1+2p)^3} = -0.9417 ,$$

sodaß:

$$\Delta r_D = 0.28035\left[\frac{1000}{0.28035}\left(\frac{f'(0)\Delta_n}{100}+\frac{f''(0)\, m\,\Delta_n^2}{100^2 . 2!}\right) - 10\, s_0\Delta_s + M_1\right]$$

$$\Delta r_D = 0.28035\,(26.223\,\Delta_n - 0.168\, m\,\Delta_n^2 + M_1 - 10\, s_0\Delta_s)$$

Über die in einigen Tabellen auftretenden Größen Δr_A und Δr_B wird noch in dem letzten Abschnitt dieser Arbeit ausführlich gesprochen werden.

Unter Δn_∞ ist der optische Dichtezuwachs für lange Wellen verstanden. Die für Δn_∞ angegebenen Werte wurden in einer von Herrn Prof. Heydweiller für $\Delta n_\alpha - \Delta n_\infty$ aus bereits vorliegenden Beobachtungen berechneten Tabelle nach den Mittelwerten von $\Delta n_\gamma - \Delta n_\alpha$ interpoliert.

Die Δr_∞ bezeichnen die mit Hilfe der Δn_∞ berechneten Refraktionsäquivalente.

Obgleich die Tabelle von Herrn Prof. Heydweiller nur für wässerige Lösungen berechnet ist, wurden doch versuchsweise auch die Refraktionsäquivalente der Lösungen in Schwefelkohlenstoff danach reduziert.

5. Ergebnisse.

5a) Salzlösungen in Wasser.

Bei allen Lösungen, für die sich der Dissoziationsgrad mit genügender Sicherheit ermitteln ließ, bestätigt sich innerhalb der Konzentrationsgrenzen die lineare Beziehung

$$\Delta n = B_n + (A_n - B_n)\, i$$

zwischen Lichtbrechung und Dissoziationsgrad in vollem Umfange.

Jedoch konnte in keinem einzigen Falle eine Parallelität der 3 Schaugeraden, wie Grufki[1]) sie für Salze von Leichtmetallen in den meisten Fällen beobachtet hat, festgestellt werden. Vielmehr zeigen alle Linien untereinander eine deutliche Konvergenz nach der Seite der B_n zu, und zwar konvergiert in jedem Falle die Δn_γ – Linie bedeutend stärker gegen die Δn_β – Linie, als es bei dieser gegen die Δn_α – Linie der Fall ist; d. h. also: die Differenz $A_n - B_n$ wächst mit abnehmender Wellenlänge, was Limann[2]) auch bei färbenden Kationen in Lösung und Lübben[3]) im Ultravioletten als allgemein gültig beobachtet hat. Die Größe der Konvergenz ist verschieden; in zwei Fällen, beim $Pb_{1/2}(CH_3COO)$

1) K. Grufki, Diss., Rostock 1913.
2) G. Limann, Diss., Rostock 1914.
3) C. Lübben, Diss., Rostock 1913.

und $La_{1/3}NO_3$, sind allerdings die Δn_α — und die Δn_β — Linie nahe parallel. Große Abweichungen weist das Silbernitrat auf. Von der nicht vorhandenen Parallelität der Schaugeraden ganz abgesehen, zeigt auch die Dispersion [49; 85] gegen die Dispersionsmittelwerte der von Grufki untersuchten Nitrate mit einwertigem Kation [25; 42] weit größere Werte. Beträchtliche Abweichungen von Grufkis Normalwerten fand auch Limann[1]) für CsBr und $CsNO_3$ und gibt als Grund hierfür an, daß sehr großes Atomgewicht des Kations wohl nicht ohne Einfluß auf die Dispersion des Anions ist. Das bestätigen die Befunde von Bieker[2]) an TlF und $Tl(SO_4)_{1/2}$; auch das von mir untersuchte $Pb_{1/2}(CH_3COO)$ zeigt gegenüber den von Bieker bestimmten Werten für die Dispersion des $Ba_{1/2}(CH_3COO)$ über doppelt so große Dispersionswerte.

Die Mittelwerte der in den Tabellen 1 bis 15 angegebenen Größen der Dispersion sind in den Tabellen 18 und 19 noch besonders zusammengestellt. Tabelle 20 gibt eine Übersicht sämtlicher Dispersionswerte aus den Beobachtungen von Grufki, Bieker, Limann und den vorliegenden Messungen. Ein Blick auf diese Tabellen zeigt, daß man wohl sagen kann: Die sichtbare Dispersion hängt bei leichten Kationen nicht merklich vom Kation ab, sondern wird hauptsächlich durch die Natur des Anions bestimmt, wenn man in Betracht zieht, daß die letzte mitgeteilte Stelle der 5 ten Dezimale des Brechungsexponenten entspricht, die immerhin um einige Einheiten unsicher ist.

Nun zu den Refraktionsäquivalenten! Was die Abhängigkeit des Refraktionsäquivalentes von der Konzentration

1) G. Limann, Diss., Rostock 1914.
2) J. Bieker, Diss., Rostock 1913.

anbelangt, so ist man darüber geteilter Meinung. Nach Hallwachs [1]) beeinflussen konstitutive Änderungen Dichte und Lichtbrechung gleichmäßig in der Weise, daß die Refraktionsäquivalente fast ungeändert bleiben. Dinkhauser [2]) hat an einer Reihe von Lösungen nachgewiesen, daß die Refraktionsäquivalente größer werden mit wachsender Verdünnung. Chéneveau [3]) konstatiert nicht solchen Gang, sondern beobachtet bei den Refraktionsäquivalenten sehr vieler Salze ein Maximum. Röhrs [4]) konnte ebenfalls für wässerige, alkoholische und azetonische Lösungen keinen für alle Salze übereinstimmenden Gang des Refraktionsäquivalentes mit der Konzentration feststellen. Howitz [5]) beobachtet bei 71 Salzen, deren Refraktionsäquivalente für Na-Licht zum Teil aus seinen eigenen Beobachtungen, zum Teil aus denen von Rubien [6]) berechnet wurden, in vielen Fällen ein Maximum und zwar nach den kleineren Konzentrationen zu gelegen.

Auch die von mir beobachteten und auf lange Wellen reduzierten Refraktionsäquivalente lassen einen gewissen Gang erkennen. Es tritt bei einigen Lösungen ein Maximum auf, über dessen Lage sich jedoch nichts allgemein Gültiges aussagen läßt. In anderen Fällen wächst dagegen das Refraktionsäquivalent mit zunehmender Konzentration, nur bei wenigen Lösungen nimmt es ab mit wachsender Konzentration. Bei Lösungen mit kleinem Δ_{nD} sind die Abweichungen am kleinsten, so sind z. B. bei den Lösungen

1) W. Hallwachs, Wied. Ann. **53,** p. 1. 1884.
2) J. Dinkhauser, Wien. Sitzgsber. **114,** IIa, p. 1001. 1905.
3) C. Chéneveau, Ann. Chim. Phys. (8), **12,** p. 155, 289. 1907.
4) F. Röhrs, Diss., Rostock 1910.
5) J. Howitz, Diss., Rostock 1914.
6) E. Rubien, Diss., Rostock 1911.

von Schwefel und Phosphor in Schwefelkohlenstoff die Refraktionsäquivalente innerhalb der Genauigkeitsgrenzen dieser Beobachtungen als konstant anzusehen.

Die von mir berechneten Werte von Δn_D der Lösungen von Schwefel in Schwefelkohlenstoff zeigen gegenüber denen, die sich aus den Beobachtungen von Forch [1]) und Berghoff [2]) ergeben, geringe Abweichungen, die wohl durch Beobachtungsfehler infolge Temperaturschwankungen zu erklären sind.

Da Δ_s und Δ_n linear vom Dissoziationsgrad abhängen, so liegt es nahe, das Refraktionsäquivalent auch in lineare Beziehung zum Dissoziationtsgrad zu setzen. Abweichend von Howitz, der dieser linearen Beziehung noch als Korrektionsglied das in dem Ausdruck für Δr_D vorkommende, Δ_n^2 enthaltende Glied hinzufügt, kann ich die Beziehung für die Darstellung meiner Versuchsergebnisse in der Form benutzen:

$$\Delta r_D = \Delta r_B + (\Delta r_A - \Delta r_B)\, i \ ,$$

weil das Korrektionsglied für die von mir untersuchten Lösungen unbedeutend und nur für große Werte von Δ_n als wesentlich in Betracht kommt. Die aus obiger Beziehung gewonnenen Werte von Δr_D sind als Δr_D „ber." in die Tabellen eingetragen. Δr_D „beob." und Δr_D „ber." zeigen gute Übereinstimmung; die Differenzen betragen im Maximum 0.05 Einheiten.

Trägt man die i-Werte als Abszissen und die zugehörigen Δr_D-Werte als Ordinaten auf, so liegen die Punkte mit großer Annäherung auf einer Geraden. In den Punkten i = o

---

1) C. Forch, Wied. Ann. **8**, p. 675. 1902.
2) V. Berghoff, Ztschr. f. phys. Chem., **15**, p. 431. 1894.

und i = 1 werden die Ordinaten gleich Δr_B resp. Δr_A; d. h. man bekommt in diesen Punkten die Refraktionsäquivalente für die Molekül- resp. Jonenlösung.

Die Differenz $\Delta r_A - \Delta r_B$ läßt keine allgemeinen Schlüsse zu, da einmal das Beobachtungsmaterial sehr gering ist — nur bei 6 Lösungen liegen die Dissoziationsgrade vor — und zum andern die konstatierten Unterschiede innerhalb der Fehlergrenze liegen. In einem einzigen Fall, beim $Pb_{1/2}(CH_3\,COO)$, geht der Wert für die Differenz $\Delta r_A - \Delta r_B$ über die Grenzen der Beobachtungsfehler hinaus; jedoch liegen bei diesen Lösungen die Dissoziationsgrade sehr nahe beieinander, sodaß die Extrapolation unsicher wird, zumal da auch nur 3 Konzentrationen untersucht wurden.

Howitz fand in den meisten Fällen $\Delta r_A - \Delta r_B$ negativ und zieht daraus den Schluß, daß das Refraktionsäquivalent der Jonen kleiner ist als das der Moleküle.

5b) Über die zeitliche Änderung der Lichtbrechung infolge chemischer Umwandlungen.

Eine zeitliche Anderung des Lichtbrechungsvermögens wurde beim Titanchlorid und Zinnchlorid beobachtet. In den folgenden beiden Tabellen sind die Brechungsindices dieser Lösungen zusammengestellt.

$Ti_{1/3}$ Cl. (Hergestellt am 26. I. 14.)

Lösung	n_α	n_β	n_γ	untersucht am
1.	1.33697	1.34315	1.34652	29. I. 14.
	1.33682	1.34303	1.34648	20. II. 14.
	1.33634	1.34253	1.34595	13. V. 14.
2.	1.33993	1.34623	1.34962	20. II. 14.
	1.33975	1.34610	1.34963	13. V. 14.
3.	1.34272	1.34911	1.35297	20. II. 14.
	1.34313	1.34961	1.35314	13. V. 14.
4.	1.35451	1.36139	1.36523	20. II. 14.
	1.35451	1.36139	1.36523	13. V. 14.

$Sn_{1/4}$ Cl. (Hergestellt am 3. III. 14.)

Lösung	n_α	n_β	n_γ	untersucht am
1.	1.33703	1.34326	1.34667	3. III. 14.
	1.33801	1.34424	1.34761	5. V. 14.
2.	1.34274	1.34920	1.35278	3. III. 14.
	1.34353	1.35005	1.35364	5. V. 14.
3.	1.35131	1.35807	1.36184	3. III. 14.
	1.35234	1.35923	1.36315	5. V. 14.
4.	1.37093	1.37843	1.38265	3. III 14.
	1.37115	1.37871	1.38296	5. V. 14.

Das $TiCl_4$ wurde, wie bereits eingangs erwähnt, als konzentrierte Lösung von Merck bezogen. Alle daraus durch Verdünnung bereiteten Lösungen zeigten mit der Zeit einen ganz plötzlich vor sich gehenden Farbenumschlag von violett in nahezu farblos. Diese Entfärbung ging bei den verdünnten Lösungen schon nach wenigen Tagen vor sich, setzte dagegen bei den konzentrierteren Lösungen erst nach 3 bis 4 Monaten ein. Bei den verdünnteren Lösungen trat außerdem noch starke Hydrolyse auf; es bildete sich ein Niederschlag von amorpher weißer Titansäure, der bei Lösung 1 recht beträchtlich, bei Lösung 2 schon weniger stark, bei Lösung 3 äußerst gering und bei Lösung 4 überhaupt nicht mehr zu bemerken war. [1])

Während das Lichtbrechungsvermögen der beiden verdünntesten Lösungen mit der Zeit abnimmt, und zwar bei der ersten in bedeutend stärkerem Maße als bei der zweiten, zeigen die beiden konzentrierteren Lösungen einen Zuwachs resp. eine Konstanz des Brechungsvermögens.

Ganz anders verhält sich das Zinntetrachlorid, für das Kohlrausch[2]) die zeitliche Änderung des Leitvermögens eingehend untersucht hat. Sämtliche Lösungen zeigen mit der Zeit einen Brechungszuwachs, der bei Lösung 3 am größten und bei Lösung 4 am kleinsten ist. Innerhalb der einzelnen Lösungen wird dieser Zuwachs bei Lösung 1 mit abnehmender Wellenlänge kleiner, bei den andern 3 Lösungen dagegen größer.

---

1) Bei späterer Nachprüfung hat Herr Prof. Heydweiller gefunden, daß eine Umwandlung des Chlorids in das Oxychlorid vorliegt unter Mitwirkung des Luftsauerstoffes.

2) F. Kohlrausch, Ztschr. f. phys. Chem. **33**, p. 273. 1900.

5c) Über das Refraktionsäquivalent des Schwefels und Phosphors.

Extrapoliert man die auf unendliche Wellenlänge reduzierten Refraktionsäquivalente der untersuchten Sulfideund Hydrosulfide für große Verdünnung, so ergeben sich die Werte:

$NaS_{1/2}$	$KS_{1/2}$	NaSH	KSH
6.73	7.97	12.06	13.45

Um hieraus das Refraktionsäquivalent für den Schwefel zu bekommen, sind folgende Abzüge[1]) zu machen:

für H: 1.47
Na: 2.33
K: 4.36

NaH: 3.80
KH: 5.83,

sodaß	$S_{1/2}$	$S_{1/2}$	S	S
	6.73	7.97	12.06	13.45
	—2.33	—4.36	—3.80	—5.83
	4.40	3.61	8.26	7.62

Zur Berücksichtigung des chemischen Einflusses des Wassers ist folgende Überlegung nötig:

In jedes Molekül des Salzes tritt ein Molekül H_2O ein, das sich in $H + OH$ spaltet. [z. B. $NaS_{1/2} + H_2O = NaOH + HS_{1/2}$]. Berechnet man aber das Refraktionsäquivalent des Wasser aus:

$$H + OH = 1.47 + 2.42 = 3.89$$

und vergleicht es mit dem für H_2O = 3.70,

1) A. Heydweiller, Wied. Ann. **41**, p. 522. 1913.

so ergibt sich eine Differenz von 0.19 Einheiten, die vom Refraktionsäquivalent für $S_{1/2}$ resp. S abzuziehen ist:

	$S_{1/2}$	$S_{1/2}$	S	S
	4.40	3.61	8.26	7.62
	— 0.19	— 0.19	— 0.19	— 0.19
	4.21	3.42		
auf S bezogen:	8.42	6.84	8.07	7.43
	7.63		7.75	

Mittel: 7.69

Einen hiermit auffallend gut übereinstimmenden Wert für das Refraktionsäquivalent des Schwefels bekommt man, wenn man Δ_r berechnet nach der bekannten Beziehung:

$$\Delta_r = \frac{M}{s} \cdot \frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon + 2}$$

Setzt man nämlich für die Dielektrizitätskonstante des festen Schwefels den Mittelwert $\varepsilon = 3.926$ der aus den Tabellen von Landolt und Börnstein entnommenen Angaben:

3.825 Fellinger
3.925 W. Schmidt
4.027 Ficker[1])

3.926

und für die Dichte des festen Schwefels die ebenfalls aus den Tabellen von Landolt und Börnstein entliehene Größe: $s = 2.063$ in obige Gleichung ein, so wird;

$$\Delta_r = \frac{M}{s} \cdot \frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon + 2} = \frac{32.07}{2.063} \cdot \frac{2.926}{5.926} = 7.68$$

1) E. Ficker, Diss., Leipzig 1909.

Extrapoliert man ferner das Refraktionsäquivalent des in Schwefelkohlenstoff gelösten Schwefels für große Verdünnung und lange Wellen, so zeigt auch der auf diese Weise erhaltene Wert 7.64 eine gute Übereinstimmung.

Schließlich sei noch erwähnt, daß das für Na-Licht berechnete Refraktionsäquivalent 8.32 von S_8 in CS_2 nur wenig abweicht von dem Wert 8.22, der sich für das auf Na-Licht bezogene Refraktionsäquivalent des gasförmigen Schwefels ergibt.

Man sieht also, daß das Refraktionsäquivalent für den in Schwefelkohlenstoff gelösten Schwefel gewisse Zuverlässigkeit besitzt trotz der in den Lösungen auftretenden Polymerisation, und daß man deswegen auch wohl den Refraktionsäquivalenten für den in Schwefelkohlenstoff gelösten Phosphor einiges Vertrauen schenken darf.

6. Zusammenfassung.

1. Für 15 wässerige und 2 Lösungen in Schwefelkohlenstoff wurden die Brechungskoeffizienten des Wasserstofflichts bei 18° und für je 4 Konzentrationen bestimmt. Außerdem wurde für alle Lösungen das Refraktionsäquivalent des gelösten Körpers für Na – Licht berechnet und auf lange Wellen reduziert.

2. In den Fällen, wo sich der Dissoziationsgrad bestimmen ließ, bestätigte sich die lineare Beziehung:

$$\Delta_n = B_n + (A_n - B_n)\, i$$

in vollem Umfange.

3. Die Differenz $A_n - B_n$ wächst mit abnehmender Wellenlänge, und zwar nimmt A_n stärker zu als B_n; d. h. die Jonen haben größeren Anteil an der Dispersion als die Moleküle.

4. Mit wachsender Konzentration nimmt die auf 1 gr. Äq. bezogene Dispersion meist etwas ab.

5. Das Refraktionsäquivalent zeigt eine geringe Änderung mit der Konzentration und läßt sich mit großer Annäherung als lineare Funktion des Dissoziationsgrades:

$$\Delta r = \Delta r_B + (\Delta r_A - \Delta r_B)\, i$$

darstellen.

6. Es wurde die zeitliche Änderung der Lichtbrechung in Folge chemischer Umwandlung der gelösten Körper in einigen Fällen untersucht.

7. Das Refraktionsäquivalent des Schwefels ergibt sich aus den wässerigen Lösungen der Sulfide und Hydrosulfide von K und Na im Mittel ebensogroß, wie aus den Lösungen von S_8 in CS_2.

Rostock, Physikalisches Institut,
im Juni 1914.

1. $AgNO_3$.

m	i	H_α n_α	H_α $n - n_0$	H_β n_β	H_β $n - n_0$	H_γ n_γ	H_γ $n - n_0$	$s_{18/18}$	Δ_s
H_2O	—	1.33141	—	1.33738	—	1.34056	—	—	—
0.505	0.673	1.34019	0.00878	1.34655	0.00917	1.35005	0.00949	1.0710	14.06
1.014	0.583	1.34878	0.01737	1.35548	0.01810	1.35918	0.01862	1.14142	13.95
2.001	0.481	1.36529	0.03388	1.35268	0.03530	1.37687	0.03631	1.27691	13.84
4.010	0.364	1.39747	0.06606	1.40633	0.06895	1.41137	0.07081	1.54926	13.70

Δn_∞ ber.	Δr_∞	Δn_α beob.	Δn_α ber.	Δn_α d.	Δn_D ber.	Δr_D beob.	Δr_D ber.	Δr_D d.	Δn_β beob.	Δn_β ber.	Δn_β d.	Δn_γ beob.	Δn_γ ber.	Δn_γ d.	beob. $\Delta n_\beta - \Delta n_\alpha$	beob. $\Delta n_\gamma - \Delta n_\alpha$
1.254	15.41	1.306	1.307	−0.001	1.320	15.87	15.92	−0.05	1.358	1.358	±	1.402	1.398	+0.004	0.052	0.096
1.235	14.46	1.287	1.288	−0.001	1.301	15.92	15.92	±	1.336	1.337	−0.001	1.370	1.375	−0.005	49	83
1.220	15.50	1.272	1.267	+0.005	1.286	15.96	15.91	+0.05	1.319	1.315	+0.004	1.354	1.349	+0.005	47	82
1.185	15.44	1.237	1.240	−0.003	1.251	15.90	15.90	±	1.286	1.289	−0.003	1.317	1.320	−0.003	49	80
		$A_n = 1.376$ $B_n = 1.164$ $A_n - B_n = 0.212$			$\Delta r_A = 15.94$ $\Delta r_B = 15.89$ $\Delta r_A - \Delta r_B = 0.05$				$A_n = 1.430$ $B_n = 1.209$ $A_n - B_n = 0.221$			$A_n = 1.482$ $B_n = 1.227$ $A_n - B_n = 0.255$			0.049	0.085

2. $Mg_{1/2}Br$.

		H_α		H_β		H_γ			
m	i	n_α	$n - n_0$	n_β	$n - n_0$	n_γ	$n - n_0$	$s_{18/18}$	Δ_s
H_2O	—	1.33143	—	1.33736	—	1.34057	—	—	—
0.5017	0.654	1.33920	0.00777	1.34555	0.00819	1.34915	0.00852	1.03833	7.640
1.002	0.582	1.34670	0.01527	1.35338	0.01602	1.35718	0.01661	1.07586	7.571
2.012	0.486	1.36154	0.03011	1.36893	0.03157	1.37310	0.03266	1.15006	7.458
4.017	0.339	1.39011	0.05868	1.39881	0.06145	1.40381	0.06324	1.29523	7.350

Δn_∞	Δr_∞	Δn_α			Δn_D	Δr_D			Δn_β			Δn_γ			beob.	
ber.		beob.	ber.	d.	ber.	beob.	ber.	d.	beob.	ber.	d.	beob.	ber.	d.	$\Delta n_\beta - \Delta n_\alpha$	$\Delta n_\gamma - \Delta n_\alpha$
1.108	11.50	1.163	1.161	+0.002	1.178	12.02	12.04	−0.02	1.221	1.218	+0.003	1.266	1.262	+0.004	0.058	0.103
1.090	11.55	1.145	1.146	−0.001	1.170	12.07	12.04	+0 03	1.194	1.197	−0.003	1.237	1.241	−0.004	49	92
1.069	11.53	1.124	1.126	−0.002	1.139	12.05	12.03	+0.02	1.173	1.175	−0.002	1.211	1.213	−0.002	49	87
1.042	11.49	1.097	1.096	+0.001	1.112	12.01	12.03	−0.02	1.144	1.142	+0.002	1.174	1.171	+0.003	47	77
		$A_n = 1.233$ $B_n = 1.026$ $A_n - B_n = 0.207$			$\Delta r_A = 12.05$ $\Delta r_B = 12.02$ $\Delta r_A - \Delta r_B = 0.229$				$A_n = 1.293$ $B_n = 1.064$ $A_n - B_n = 0.03$			$A_n = 1.362$ $B_n = 1.073$ $A_n - B_n = 0.289$			0.051	0.090

3. $Pb_{1/2}(CH_3COO)$.

		H_α		H_β		H_γ			
m	i	n_α	$n - n_0$	n_β	$n - n_0$	n_γ	$n - n_0$	$S_{18/18}$	Δ_s
H_2O	—	1.33141	—	0.33736	—	1.34054	—	—	—
0.4971	0.106	1.34030	0.00889	1.34665	0.00929	1.35016	0.00962	1.05896	11.85
0.9725	0.070	1.34864	0.01723	1.35537	0.01801	1.35913	0.01859	1.1145	11.78
2.006	0.040	1.36665	0.03524	1.37417	0.03681	1.37843	0.03789	1.2333	11.66

Δn_∞	Δr_∞	Δn_α			Δn_D	Δr_D			Δn_β			Δn_γ			beob.	
ber.		beob.	ber.	d.	ber.	beob.	ber.	d.	beob.	ber.	d.	beob.	ber.	d.	$\Delta n_\beta - \Delta n_\alpha$	$\Delta n_\gamma - \Delta n_\alpha$
1.286	18.65	1.343	1.343	±	1.357	19.19	19.19	±	1.394	1.396	−0.002	1.441	1.443	−0.002	0.051	0.098
1.273	18.68	1.331	1.330	+0.001	1.346	19.22	19.24	−0.02	1.385	1.383	+0.002	1.426	1.424	+0.002	54	95
1.262	18.77	1.319	1.319	±	1.334	19.31	19.28	+0.03	1.372	1.372	±	1.409	1.409	±	52	90
		$A_n = 1.668$ $B_n = 1.305$ $A_n - B_n = 0.363$			$\Delta r_A = 17.93$ $\Delta r_B = 19.34$ $\Delta r_A - \Delta r_B = -1.41$				$A_n = 1.721$ $B_n = 1.358$ $A_n - B_n = 0.363$			$A_n = 1.899$ $B_n = 1.389$ $A_n - B_n = 0.510$			0.052	0.094

4. $La_{1/3}NO_3$.

		H_α		H_β		H_γ			
m	i	n_α	$n - n_0$	n_β	$n - n_0$	n_γ	$n - n_0$	$S_{18/18}$	Δ_s
H_2O	—	1.33137	—	1.33734	—	1.34048	—	—	—
0.5021	0.586	1.33940	0.00803	0.34565	0.00831	1.34916	0.00868	1.04819	9.598
1.004	0.484	1.34697	0.01560	1.35346	0.01612	1.35719	0.01671	1.09549	9.511
2.091	0.338	1.36283	0.03146	1.36994	0.03260	1.37387	0.03339	1.19488	9.320
4.016	0.177	1.38887	0.05750	1.39690	0.05956	1.40136	0.06088	1.3655	9.101

Δn_∞	Δr_∞	Δn_α			Δn_D	Δr_D			Δn_β			Δn_γ			beob.	
ber.		beob.	ber.	d.	ber.	beob.	ber.	d.	beob.	ber.	d.	beob.	ber.	d.	$\Delta n_\beta - \Delta n_\alpha$	$\Delta n_\gamma - \Delta n_\alpha$
1.156	11.17	1.201	1.203	−0.002	1.211	11.57	11.60	−0.03	1.237	1.238	−0.001	1.290	1.287	+0.003	0.036	0.089
1.121	11.04_5	1.166	1.171	−0.005	1.176	11.44_5	—	—	1.201	1.206	−0.005	1.242	1.247	−0.005	35	76
1.086	11.15	1.131	1.125	+0.006	1.141	11.55	11.53	+0.02	1.166	1.161	+0.005	1.191	1.190	+0.001	35	60
1.030	11.09_5	1.075	1.074	+0.001	1.085	11.49_5	11.50	-0.00_5	1.109	1.109	±	1.131	1.129	+0.002	34	56
		An = 1.334 Bn = 1.019 An - Bn = 0.315			Δr_A = 11.70 Δr_B = 11.45 $\Delta r_A - \Delta r_B$ = 0.25				An = 1.369 Bn = 1.054 An - Bn = 0.315			An = 1.448 Bn = 1.060 An - Bn = 0.388			0.035	0.070

5. $Sm_{1/3}NO_3$.

		H_α		H_β		H_γ			
m	i	n_α	$n - n_0$	n_β	$n - n_0$	n_γ	$n - n_0$	$s_{18/18}$	Δ_s
H_2O	—	1.33140	—	1.33735	—	1.34057	—	—	—
0.6903	0.578	1.34145	0.01005	1.34782	0.01047	1.35129	0.01072	1.05634	8.162
1.046	0.521	1.34642	0.01502	1.35295	0.01560	1.35654	0.01597	1.08488	8.115
2.055	0.396	1.35984	0.02844	1.36690	0.02955	1.37085	0.03028	1.16285	7.925
2.938	0.312	1.37114	0.03974	1.37860	0.04125	1.38281	0.04224	1.22968	7.818

Δn_∞	Δr_∞	Δn_α			Δn_D	Δr_D			Δn_β			Δn_γ			beob.	
ber.		beob.	ber.	d.	ber.	beob.	ber.	d.	beob.	ber.	d.	beob.	ber.	d.	$\Delta n_\beta - \Delta n_\alpha$	$\Delta n_\gamma - \Delta n_\alpha$
1.054	14.13	1.094	1.095	—0.001	1.103	14.50	14.47	+0.03	1.134	1.133	+0.001	1.158	1.159	—0.001	0.040	0.064
1.039	14.11	1.079	1.078	+0.001	1.088	14.47	14.49	—0.02	1.115	1.115	±	1.139	1.139	±	36	60
0.999	14.17	1.039	1.040	—0.001	1.049	14.53	14.53	±	1.075	1.076	—0.001	1.099	1.099	±	36	60
0.976	14.19	1.016	1.015	+0.001	1.026	14.55	14.55	±	1.050	1.049	+0.001	1.072	1.072	±	34	56
		$A_n = 1.222$ $B_n = 0.922$ $A_n - B_n = 0.300$			$\Delta r_A = 14.33$ $\Delta r_B = 14.65$ $\Delta r_A - \Delta r_B = -0.32$				$A_n = 1.267$ $B_n = 0.950$ $A_n - B_n = 0.317$			$A_n = 1.297$ $B_n = 0.970$ $A_n - B_n = 0.327$			0.036_5	0.060

6. $Th_{1/4}$ Cl.

		H_α		H_β		H_γ			
m	i	n_α	$n - n_0$	n_β	$n - n_0$	n_γ	$n - n_0$	$s_{18/15}$	Δ_s
H_2O	—	1.33140	—	1.33735	—	1.34057	—	—	—
0.4942	0.679	1.33896	0.00756	1.34519	0.00784	1.34862	0.00805	1.04309	8.719
0.977	0.602	1.34620	0.01480	1.35256	0.01521	1.35622	0.01565	1.08480	8.680
1.954	0.496	1.36045	0.02905	1.36734	0.02999	1.37121	0.03064	1.16812	8.600
3.925	0.337	1.38789	0.05649	1.39563	0.05828	1.39995	0.05938	1.33265	8.475

Δn_∞	Δn_∞	Δn_α			Δn_D	Δr_D			Δn_β			Δn_γ			beob.	
ber.		beob.	ber.	d.	ber.	beob.	ber.	d.	beob.	ber.	d.	beob.	ber.	d.	$\Delta n_\beta - \Delta n_\alpha$	$\Delta n_\gamma - \Delta n_\alpha$
1.111	9.57	1.149	1.150	−0.001	1.160	9.95	9.93	+0.02	1.186	1.185	+0.001	1.215	1.215	±	0.037	0.066
1.100	9.53	1.138	1.136	+0.002	1.146	9.91	9.92	−0.01	1.164	1.168	−0.004	1.195	1.196	−0.001	26	57
1.078	9.51	1.116	1.115	+0.001	1.125	9.89	9.91	−0.02	1.147	1.145	+0.002	1.169	1.168	+0.001	31	53
1.043	9.56	1.081	1.082	−0.001	1.089	9.94	9.93	+0.01	1.110	1.109	+0.001	1.128	1.127	+0.001	29	47
		$A_n = 1.218$ $B_n = 1.013$ $A_n - B_n = 0.205$			$\Delta r_A = 9.94$ $\Delta r_B = 9.91$ $\Delta r_A - \Delta r_B = 0.03$				$A_n = 1.257$ $B_n = 1.034$ $A_n - B_n = 0.223$			$A_n = 1.298$ $B_n = 1.041$ $A_n - B_n = 0.257$			0.031	0.056

7. $Ti_{1/3}Cl$.

m	H_α		H_β		H_γ		$s_{18/18}$	Δs
	n_α	$n - n_0$	n_β	$n - n_0$	n_γ	$n - n_0$		
H_2O	1.33140	—	1.33736	—	1.34054	—	—	—
0.4364	1.33697	0.00557	1.34315	0.00579	1.34652	0.00598	1.02217	5.08
0.892	1.34272	0.01132	1.34911	0.01175	1.35297*	0.01243	1.04487	5.03
1.820	1.35451	0.02311	1.36139	0.02403	1.36523	0.02469	1.08991	4.94
3.684	1.37741	0.04601	1.38508	0.04772	1.38930	0.04876	1.17683	4.80

Δn_∞ ber.	Δr_∞	Δn_α beob.	Δn_D ber.	Δr_D beob.	Δn_β beob.	Δn_γ beob.	beob. $\Delta n_\beta - \Delta n_\alpha$	beob. $\Delta n_\gamma - \Delta n_\alpha$
0.916	6.98	0.959	0.968	7.36	0.992	1.022	0.033	0.063
0.910	7.03	0.953	0.962	7.41	0.985	[1.039]*	32	[86]*
0.911	7.19	0.954	0.963	7.57	0.987	1.012	33	58
0.895	7.31	0.938	0.947	7.69	0.968	0.987	30	49
							0.032	0.057

* unsicher; H_γ war für die Beobachtung sehr lichtschwach.

8. $Sn^{II}_{II}Cl$.

	H_α		H_β		H_γ			
m	n_α	$n - n_0$	n_β	$n - n_0$	n_γ	$n - n_0$	$S^{18}/_{18}$	Δ_S
H_2O	1.33134	—	1.33731	—	1.34059	—	—	—
0.4940	1.33703	0.00569	1.34326	0.00595	1.34667	0.00608	1.02523	5.108
1.063	1.34274	0.01140	1.34920	0.01189	1.35278	0.01219	1.05332	5.014
1.993	1.35131	0.01997	1.35807	0.02076	1.36184	0.02125	1.09762	4.896
4.194	1.37093	0.03959	1.37843	0.04112	1.38265	0.04206	1.20050	4.768

Δn_∞ ber.	Δr_∞	Δn_α beob.	Δn_D ber.	Δr_D beob.	Δn_β beob.	Δn_γ beob.	beob. $\Delta n_\beta - \Delta n_\alpha$	beob. $\Delta n_\gamma - \Delta n_\alpha$
0.832	9.10	0.865	0.874	9.44	0.900	0.918	0.035	0.053
0.772	8.88	0.805	0.814	9.20	0.836	0.855	31	50
0.719	8.75	0.752	0.760	9.03	0.778	0.795	26	43
0.676	8.70	0.709	0.715	8.96	0.733	0.748	24	39
							0.029	0.046

9. $Cd_{1/2}Cl$.

	H_α		H_β		H_γ			
m	n_α	$n - n_0$	n_β	$n - n_0$	n_γ	$n - n_0$	$s_{18}/_{18}$	Δs
H_2O	1.33141	—	1.33737	—	1.34057	—	—	—
0.495	1.33803	0.00662	1.34426	0.00689	1.34767	0.00710	1.0392	7.91
0.996	1.34456	0.01315	1.35100	0.01363	1.35459	0.01402	1.0780	7.83
1.992	1.35717	0.02576	1.36403	0.02666	1.36791	0.02734	1.1544	7.75
3.972	1.38187	0.05046	1.38966	0.05229	1.39400	0.05343	1.3022	7.61

Δn_∞ ber.	Δr_∞	Δn_α beob.	Δn_D ber.	Δr_D beob.	Δn_β beob.	Δn_γ beob.	beob. $\Delta n_\beta - \Delta n_\alpha$	beob. $\Delta n_\gamma - \Delta n_\alpha$
0.968	9.81	1.004	1.013	10.16	1.036	1.069	0.032	0.065
0.954	9.85	0.992	1.001	10.20	1.023	1.050	31	58
0.934	9.83	0.972	0.981	10.18	1.001	1.024	29	52
0.917	9.95	0.955	0.964	10.30	0.984	1.003	29	48
							0.030	0.056

10. $Cd_{1/2}Br$.

	H_α		H_β		H_γ			
m	n_α	$n - n_0$	n_β	$n - n_0$	n_γ	$n - n_0$	$s_{18/18}$	Δ_s
H_2O	1.33139	—	1.33736	—	1.34057	—	—	—
0.4882	1.33956	0.00817	1.34596	0.00860	1.34947	0.00890	1.0571	11.70
1.008	1.34851	0.01712	1.35528	0.01792	1.35907	0.01850	1.1667	11.58
2.018	1.36514	0.03375	1.37270	0.03534	1.37702	0.03645	1.2308	11.44
3.995	1.39766	0.06627	1.40688	0.06952	1.41216	0.07159	1.4493	11.32

Δn_∞ ber.	Δr_∞	Δn_α beob.	Δn_D ber.	Δr_D beob.	Δn_β beob.	Δn_γ beob.	beob. $\Delta n_\beta - \Delta n_\alpha$	beob. $\Delta n_\gamma - \Delta n_\alpha$
1.201	12.82	1.257	1.272	13.41	1.317	1.360	0.060	0.103
1.219	13.13	1.275	1.290	13.72	1.329	1.369	54	94
1.200	13.34	1.256	1.281	13.93	1.310	1.347	54	91
1.190	13.41	1.246	1.271	14.00	1.300	1.337	54	91
							0.054	0.092

11. $Jn_{1/3}Br$.

	H_α		H_β		H_γ			
m	n_α	$n - n_0$	n_β	$n - n_0$	n_γ	$n - n_0$	$s_{18/18}$	Δ_s
H_2O	1.33140	—	1.33739	—	1.34054	—	—	—
0.4992	1.33909	0.00769	1.34546	0.00807	1.34890	0.00836	1.04916	9.847
1.004	1.34670	0.01530	1.35339	0.01600	1.35705	0.01651	1.09822	9.784
1.999	1.36156	0.03016	1.36894	0.03155	1.37304	0.03250	1.19466	9.740
3.788	1.38820	0.05680	1.39684	0.05945	1.40181	0.06127	1.36718	9.696

Δn_∞ ber.	Δr_∞	Δn_α beob.	Δn_D ber.	Δr_D beob.	Δn_β beob.	Δn_γ beob.	beob. $\Delta n_\beta - \Delta n_\alpha$	beob. $\Delta n_\gamma - \Delta n_\alpha$
1.105	12.31	1.157	1.171	12.79	1.209	1.249	0.052	0.092
1.092	12.30	1.144	1.157	12.78	1.191	1.227	47	83
1.081	12.28	1.133	1.146	12.76	1.180	1.213	47	80
1.074	12.24	1.126	1.139	12.72	1.173	1.206	47	80
							0.048	0.084

12. $NaS_{1/2}$.

	H_α		H_β		H_γ			
m	n_α	$n - n_0$	n_β	$n - n_0$	n_γ	$n - n_0$	$S_{18/18}$	Δ_s
H_2O	1.33142	—	1.33735	—	1.34058	—	—	—
0.4515	1.33769	0.00627	1.34400	0.00665	1.34751	0.00693	1.01855	4.109
0.9246	1.34400	0.01258	1.35057	0.01322	1.35433	0.01375	1.03707	4.009
1.856	1.35597	0.02455	1.36317	0.02582	1.36723	0.02665	1.07073	3.810
3.710	1.37794	0.04652	1.38631	0.04896	1.39104	0.05046	1.13334	3.594

Δn_∞ ber.	Δr_∞	Δn_α beob.	Δn_D ber.	Δr_D beob.	Δn_β beob.	Δn_γ beob.	beob. $\Delta n_\beta - \Delta n_\alpha$	beob. $\Delta n_\gamma - \Delta n_\alpha$
0.997	7.00	1.043	1.055	7.43	1.102	1.145	0.059	0.102
0.976	7.04	1.022	1.034	7.47	1.069	1.109	47	87
0.947	7.21	0.993	1.005	7.64	1.040	1.071	47	78
0.918	7.47	0.964	0.976	7.80	0.987	1.005	23	41
							0.044	0.072

13. $KS_{1/2}$.

	H_α		H_β		H_γ			
m	n_α	$n - n_0$	n_β	$n - n_0$	n_γ	$n - n_0$	$s_{18/18}$	Δ_s
H_2O	1.33142	—	1.33735	—	1.34058	—	—	—
0.3141	1.33581	0.00439	1.34198	0.00463	1.34540	0.00482	1.01647	5.243
0.6092	1.33987	0.00845	1.34624	0.00889	1.34974	0.00916	1.03155	5.179
1.225	1.34838	0.01696	1.35509	0.01774	1.35890	0.01832	1.06166	5.033
2.442	1.36369	0.03227	1.37110	0.03375	1.37530	0.03472	1.11712	4.796

Δn_∞ ber.	Δr_∞	Δn_α beob.	Δn_D ber.	Δr_D beob.	Δn_β beob.	Δn_γ beob.	beob. $\Delta n_\beta - \Delta n_\alpha$	beob. $\Delta n_\gamma - \Delta n_\alpha$
1.000	8.03	1.050	1.062	8.48	1.102	1.145	0.052	0.095
0.992	8.09	1.042	1.054	8.54	1.091	1.121	49	79
0.990	8.35	1.040	1.052	8.80	1.082	1.115	42	75
0.943	8.45	0.993	1.005	8.90	1.033	1.060	40	67
							0.046	0.079

14. NaSH.

m	H_α		H_β		H_γ		$s_{18}/_{18}$	Δs
	n_α	$n - n_0$	n_β	$n - n_0$	n_γ	$n - n_0$		
H_2O	1.33145	—	1.33737	—	1.34059	—	—	—
0.3601	1.33735	0.00590	0.34380	0.00643	1.34735	0.00676	1.01359	3.774
0.7309	1.34330	0.01185	1.35018	0.01281	1.35394	0.01335	1.02678	3.664
1.474	1.35520	0.02375	1.36288	0.02551	1.36717	0.02658	1.05212	3.535
2.949	1.37801	0.04656	1.38684	0.04947	1.39205	0.05146	1.09952	3.375

Δn_∞ ber.	Δr_∞	Δn_α beob.	Δn_D ber.	Δr_D beob.	Δn_β beob.	Δn_γ beob.	beob. $\Delta n_\beta - \Delta n_\alpha$	beob. $\Delta n_\gamma - \Delta n_\alpha$
1.153	12.38	1.231	1.256	13.15	1.335	1.400	0.104	0.169
1.140	12.46	1.218	1.243	13.23	1.310	1.362	92	144
1.132	12.66	1.210	1.235	13.43	1.294	1.345	84	135
1.108	12.71	1.186	1.211	13.48	1.254	1.302	68	116
							0.087	0.141

15. KSH.

	H_α		H_β		H_γ			
m	n_α	$n - n_0$	n_β	$n - n_0$	n_γ	$n - n_0$	$s_{18/18}$	Δ_s
H_2O	1.33143	—	1.33736	—	1.34057	—	—	—
0.4222	1.33834	0.00691	1.34475	0.00739	1.34839	0.00782	1.02003	4.744
0.8539	1.34534	0.01391	1.35220	0.01484	1.35613	0.01556	1.03995	4.678
1.711	1.35899	0.02756	1.36651	0.02915	1.37141	0.03084	1.07756	4.533
3.427	1.38482	0.05339	1.39380	0.05644	1.39973	0.05916	1.14901	4.348

Δn_∞ ber.	Δr_∞	Δn_α beob.	Δn_D ber.	Δr_D beob.	Δn_β beob.	Δn_γ beob.	beob. $\Delta n_\beta - \Delta n_\alpha$	beob. $\Delta n_\gamma - \Delta n_\alpha$
1.154	13.72	1.229	1.249	14.41	1.309	1.382	0.080	0.153
1.148	13.77	1.223	1.243	14.46	1.299	1.359	76	136
1.135	13.94	1.210	1.230	14.63	1.274	1.345	64	135
1.095	13.95	1.170	1.190	14.64	1.234	1.288	62	118
							0.070_5	0.133

16. S_8 in CS_2.

	H_α		H_β		H_γ			
m	n_α	$n - n_0$	n_β	$n - n_0$	n_γ	$n - n_0$	$S^{18}/_{18}$	Δ_S
CS_2	1.6199	—	1.6541	—	1.6767	—	1.26767	—
0.503	1.6228	0.0029	1.6574	0.0033	1.6802	0.0035	1.27371	0.947
1.004	1.6257	0.0058	1.6606	0.0065	1.6838	0.0071	1.27970	0.945
2.016	1.6316	0.0117	1.6673	0.0132	1.6913	0.0146	1.29217	0.958
4.041	1.6434	0.0235	1.6806	0.0265	1.7057	0.0290	1.31545	0.933

Δn_∞ ber.	Δn_∞	Δn_α beob.	Δn_D ber.	Δr_D beob.	Δn_β beob.	Δn_γ beob.	beob. $\Delta n_\beta - \Delta n_\alpha$	beob. $\Delta n_\gamma - \Delta n_\alpha$
0.31_3	7.93	0.35_6	0.36_6	8.31	0.39_7	0.41_6	0.03_9	0.06_0
0.31_4	7.94	0.35_7	0.36_7	9.32	0.39_2	0.42_2	3_5	6_5
0.31_5	7.94	0.35_8	0.36_8	8.32	0.39_6	0.43_3	3_8	7_4
0.31_7	7.94	0.36_0	0.37_0	8.32	0.39_6	0.42_8	3_6	6_8
							0.03_7	0.06_7

17. P_4 in CS_2.

	H_α		H_β		H_γ			
m	n_α	$n - n_0$	n_β	$n - n_0$	n_γ	$n - n_0$	$s_{18/18}$	Δ_s
CS_2	1.6199	—	1.6541	—	1.6767	—	1.26767	—
0.5018	1.6229	0.0030	1.6576	0.0035	1.6806	0.0039	1.27197	0.67_7
1.003	1.6260	0.0061	1.6611	0.0070	1.6846	0.0079	1.27672	0.711
2.000	1.6320	0.0121	1.6681	0.0140	1.6924	0.0157	1.28548	0.703
4.009	1.6441	0.0242	1.6820	0.0279	1.7081	0.0314	1.30349	0.705

Δn_∞ ber.	Δr_∞	Δn_α beob.	Δn_D ber.	Δr_D beob.	Δn_β beob.	Δn_γ beob.	beob. $\Delta n_\beta - \Delta n_\alpha$	beob. $\Delta n_\gamma - \Delta n_\alpha$
0.31_2	7.74	0.36_9	0.38_9	8.23	0.42_2	0.46_3	0.05_3	0.09_4
0.31_8	7.77	0.37_5	0.39_5	8.26	0.42_2	0.47_0	4_7	9_5
0.31_4	7.74	0.37_1	0.39_1	8.23	0.42_3	0.46_8	5_2	9_7
0.31_6	7.74	0.37_3	0.39_3	8.23	0.42_1	0.46_8	5_8	9_5
							0.05_2	0.09_5

18. $10^3(\Delta n_\beta - \Delta n_\alpha) = \frac{10^5}{m}\left[\left(\frac{n-n_0}{n_0}\right)_\beta - \left(\frac{n-n_0}{n_0}\right)_\alpha\right]$.

19. $10^3(\Delta n_\gamma - \Delta n_\alpha) = \frac{10^5}{m}\left[\left(\frac{n-n_0}{n_0}\right)_\gamma - \left(\frac{n-n_0}{n_0}\right)_\alpha\right]$.

	Cl	Br	NO_3	CH_3COO	$S_{1/2}$	SH	Cl	Br	NO_3	CH_3COO	$S_{1/2}$	SH
Na					44	87					72	141
K					46	70_5					79	133
Ag			49						85			
$Mg_{1/2}$		51						90				
$Cd_{1/2}$	30	54					56	92				
$Pb_{1/2}$				52						94		
$Jn_{1/3}$		48						84				
$La_{1/3}$			35						70			
$Sm_{1/3}$			48						80			
$Ti_{1/3}$	32						57					
$Sn_{1/4}$	29						46					
$Th_{1/4}$	31						56					
Mittel	30_5	51	44	52	45	79	54	89	78	94	75_5	137

Inhaltsverzeichnis.

Seite

1. Einleitung 5
2. Herstellung, Dichte und Dissoziationsgrad der Lösungen 6
3. Bestimmung der Brechungskoeffizienten 13
4. Berechnung der Tabellen 15
5. Ergebnisse
   a) Salzlösungen in Wasser 21
   b) Über zeitliche Änderung der Lichtbrechung infolge chemischer Umwandlungen 25
   c) Über das Refraktionsäquivalent des Schwefels und Phosphors 28
6. Zusammenfassung 30

An dieser Stelle sei es mir gestattet, meinem hochverehrten Lehrer, Herrn **Prof. Dr. A. Heydweiller,** meinen herzlichsten Dank auszusprechen für die freundliche Überlassung des Themas, sowie für das stets fördernde Interesse, das er meiner Arbeit entgegenbrachte, und die wertvollen Ratschläge, die er mir bei Ausführung derselben erteilte.

Lebenslauf.

Ich, Adolf Karl Christian Rudolf Kümmel, Sohn des Strafanstaltsinspektors Paul Kümmel zu Dreibergen bei Bützow i. M., wurde am 30. September 1891 zu Schwerin i. M. geboren und im ev.-luth. Glauben erzogen. Von meinem 9. Lebensjahr an besuchte ich das Realgymnasium zu Bützow, das ich Ostern 1910 mit dem Zeugnis der Reife verließ. Von Ostern 1910 bis Michaelis 1911 studierte ich in Kiel, von Michaelis 1911 bis Michaelis 1914 in Rostock Mathematik, Physik und Chemie. Das Examen rigorosum bestand ich am 1. August 1914 mit dem Prädikat magna cum laude.

I. $= 10^3 (\Delta n_\beta - \Delta n_\alpha)$ II. $= 10^3 (\Delta n_\gamma - \Delta n_\alpha)$

	F		Cl		Br		J		ClO_4		$\frac{1}{2} SO_4$		ClO_3		NO_3		BrO_3		JO_3		$\frac{1}{2} CrO_4$		CHO_2		$C_2H_3O_2$		$C_3H_5O_2$		CNS		$\frac{1}{3}Fe(CN)_6$		$\frac{1}{4}Fe(CN)_6$		$S_{\frac{1}{2}}$		SH	
	I.	II.	I.	II.	I.	II.	I.	II.	I.	II.	I.	II.	I.	II.	I.	II.	I.	II.	I.	II.	I.	II.	I.	II.	I.	II.	I.	II.	I.	II.	I.	II.	I.	II.	I.	II.	I.	II.	I.	II.
H			25	38									14	24					67	109																				
Li			22	35	44	75	104	172			6	11			24	42			59	95	187	—	15	25	17	26			62	100								
Na			22	36	46	75	105	175	0	0			10	17	24	37	28	45			201	—	15	25			20	32	60	103					44	72	87	141
NH_4	4	5																																				
K					44	70	103	172													191	—					18	29	58	96	94	—	57	86	46	79	70	133
Rb	−1	2	16	35	43	73	104	177			6	8			26	47																						
Ag															49	85																						
Cs			23	38	47	79									28	49																						
Tl	56	94									65	114																										
$\frac{1}{2}$ Be			21	32											27	44																						
$\frac{1}{2}$ Mg					51	90											30	50																				
$\frac{1}{2}$ Ca																											19	32										
$\frac{1}{2}$ Mn			26	44	51	83									31	56																						
$\frac{1}{2}$ Fe			33	44	54	90																																
$\frac{1}{3}$ Fe			65	—											59	—																						
$\frac{1}{2}$ Ni			31	51	55	90							19	26	33	49																						
$\frac{1}{2}$ Co			35	56	54	84							16	26	31	55																						
$\frac{1}{2}$ Cu													22	41	43	69																						
$\frac{1}{2}$ Zn																	34	55																				
$\frac{1}{2}$ Sr																	32	53					17	30														
$\frac{1}{2}$ Cd			30	56	54	92																																
$\frac{1}{2}$ Ba													14	23									21	34	21	34												
$\frac{1}{2}$ Hg			34	44																																		
$\frac{1}{2}$ Pb															58	96									52	94												
$\frac{1}{3}$ Al			26	40											30	48																						
$\frac{1}{3}$ Cr			35	—	62	—																																
$\frac{1}{3}$ Ti			32	57																																		
$\frac{1}{3}$ Jn					48	84																																
$\frac{1}{3}$ La															35	70																						
$\frac{1}{3}$ Sm															36_5	60																						
$\frac{1}{4}$ Sn			29	46																																		
$\frac{1}{4}$ Th			31	56																																		